

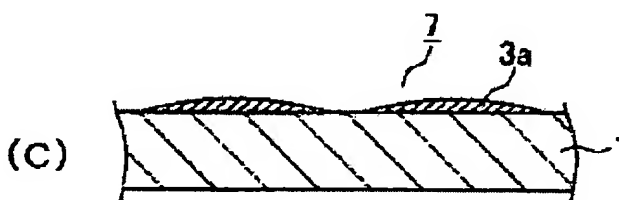
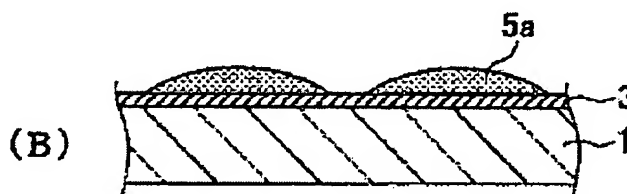
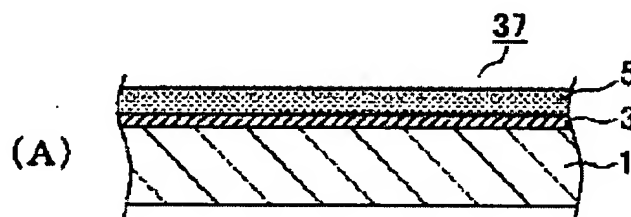
**DISTRIBUTED DENSITY MASK AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME**

**Patent number:** JP2002090980  
**Publication date:** 2002-03-27  
**Inventor:** UMEKI KAZUHIRO  
**Applicant:** RICOH OPTICAL IND CO  
**Classification:**  
 - international: G03F1/08; G03F7/20; G03F7/207; G03F7/40; H01L21/027; G03F1/08; G03F7/20; G03F7/207; G03F7/40; H01L21/02; (IPC1-7): G03F1/08; G03F7/20; G03F7/207; G03F7/40; H01L21/027  
 - european:  
**Application number:** JP20000284551 20000920  
**Priority number(s):** JP20000284551 20000920

Report a data error here

**Abstract of JP2002090980**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make formable a photosensitive material pattern having a three- dimensional structure even by a contact exposure method or a proximity exposure method. **SOLUTION:** The distributed density mask 7 has each Cr film pattern 3a equimultiple to an article to be manufactured. In the part where the Cr film pattern 3a is not present, the quantity of light transmitted is 100%. In the part where the Cr film pattern 3a is present, the quantity of light transmitted depends on the thickness of the pattern 3a and is large in the thin part and small in the thick part. The optical density distribution of the distributed density mask 7 is attained by the thickness distribution of the Cr film pattern 3a. The optical density distribution of the mask 7 is analog.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-90980

(P2002-90980A)

(43) 公開日 平成14年3月27日 (2002.3.27)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 3 F 1/08		G 0 3 F 1/08	C 2 H 0 9 5
			L 2 H 0 9 6
7/20	5 0 1	7/20	5 0 1 2 H 0 9 7
7/207		7/207	Z
7/40	5 2 1	7/40	5 2 1
審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-284551 (P2000-284551)

(22) 出願日 平成12年9月20日 (2000.9.20)

(71) 出願人 000115728

リコー光学株式会社

岩手県花巻市大畑第十地割109番地

(72) 発明者 梅木 和博

岩手県花巻市大畑第十地割109番地 リコー光学株式会社内

(74) 代理人 100085464

弁理士 野口 繁雄

Fターム(参考) 2H095 BA03 BB02 BB31 BC08

2H096 AA24 EA04 EA06 GA01 GA17

HA01 HA23 JA04

2H097 BA01 BA06 BB01 GA45 JA02

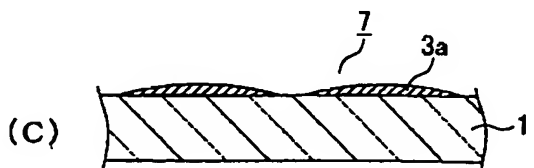
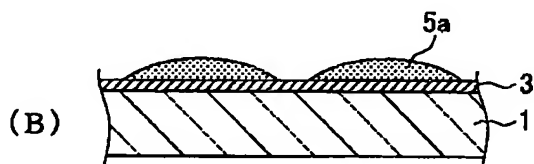
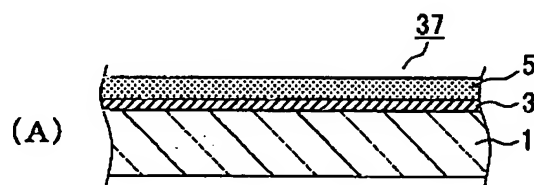
LA12 LA15

(54) 【発明の名称】 濃度分布マスクとその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 コンタクト露光法やプロキシミティー露光法によっても三次元構造をもつ感光性材料パターンを形成できるようにする。

【解決手段】 濃度分布マスク7は製作しようとする目的物品と等倍のCr膜パターン3aを備えている。Cr膜パターン3aが存在しない部分では光透過量は100%であり、Cr膜パターン3aが存在する部分では、Cr膜パターン3aの膜厚に応じて、膜厚が薄い部分では光透過量は多く、膜厚が厚い部分では光透過量は少なくなっていて、濃度分布マスク7の光学濃度分布は、Cr膜パターン3aの膜厚の分布により実現されている。濃度分布マスク7の光学濃度分布はアナログ的なものになっている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 目的物品を形成すべき基体上に形成された感光材料層を露光するための遮光膜パターンを有するマスクであって、

前記パターンは遮光膜により透明基板上に形成された二次元パターンと、その二次元パターンの少なくとも一部においては透過光量が連続的に変化するように遮光膜の膜厚が連続的に変化している膜厚分布とを備えた三次元パターンであり、

かつ、前記パターンは形成される目的物品のパターンと等倍寸法に形成されていることを特徴とする濃度分布マスク。

【請求項2】 請求項1に記載の濃度分布マスクを以下の工程(A)から(C)を含んで製造する濃度分布マスクの製造方法。

(A) 透明基板上に遮光膜をもちその表面が感光材料層で被われたマスクブランクスに対し、加工対象物のパターンより大きな寸法の遮光膜二次元パターンをもつレチクルを用い、形成される遮光膜パターンが目的物品に対して等倍寸法になるように縮小率を設定して縮小投影露光する露光工程、

(B) 露光後の前記感光性材料層に現像処理を施して三次元構造をもつ感光性材料パターンを形成する現像工程、

(C) 形成された前記感光性材料パターンをマスクにしてマスクブランクの遮光膜にエッチング処理を施して三次元構造をもつ遮光膜パターンを形成するエッチング工程。

【請求項3】 前記露光工程(A)において、前記縮小投影露光は焦点をぼかしたデフォーカスで行なう請求項2に記載の製造方法。

【請求項4】 前記露光工程(A)において、露光時間内にデフォーカス量を予め設定された条件で変化させつつ行なう請求項2又は3に記載の製造方法。

【請求項5】 前記露光工程(A)において、デフォーカス量を焦点が大きすぎた側から焦点が合う側へ変化させる請求項4に記載の製造方法。

【請求項6】 前記露光工程(C)において、前記エッチング処理は異方性エッチングである請求項2から5のいずれかに記載の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、三次元構造の表面形状をもつ物品を製作する際に、その目的物品を形成すべき基体上に形成された感光材料層を露光するために使用される遮光膜パターンを有する濃度分布マスクとその製造方法に関するものである。濃度分布マスクは、特に、微細な三次元構造をもつ物品の製作に使用され、例えばマイクロマシニング分野、壁掛けTV用ディスプレイ分野、液晶ディスプレイ分野、太陽電池製造分野な

ど、半導体製造プロセスで使用されているのと同様の微細化工技術を利用する分野で使用される。

## 【0002】

【従来の技術】光学素子の屈折面や反射面に、球面や非球面等に代表される特殊な面形状が使用されるようになってきている。また近年は液晶表示素子や液晶プロジェクタ等に関連して、マイクロレンズ等にも特殊な面形状が求められている。そこで屈折面や反射面を型成形や研磨によらずに形成する方法として、光学基板の表面にフォトリソ（感光性材料の代表例）の層を形成し、このフォトリソ層に対して二次元的な光透過量分布を有する露光用マスクを介して露光し、露光後のフォトリソに現像処理を施すことによりフォトリソの表面形状として三次元的な凸面形状もしくは凹面形状を得、しかる後にフォトリソと光学基板とに対して異方性エッチングを行ない、フォトリソの表面形状を光学基板に彫り写して転写することにより、光学基板の表面に所望の三次元構造の屈折面や反射面の形状を得ることが知られている（特表平8-504515号公報を参照、以下この記載内容を従来技術とする）。

【0003】そこでは、屈折面や反射面等の三次元構造の特殊表面形状を得るために用いられる露光用マスクとして、特殊表面形状に対応して二次元的な光透過量分布をもった濃度分布マスク（グラデーションマスク（GM）ともいう）が使用されている。従来技術に記載されている濃度分布マスクでは、二次元的な光透過量分布のパターンを形成するためにマスクパターンを光伝達開口と称する単位セルに分割し、各単位セルの開口寸法が、形成しようとするフォトリソパターンの対応した位置の高さに応じた光透過量又は遮光量となるように設定されている。

【0004】従来技術では、マスクパターンは目的のフォトリソパターンに対して拡大された寸法で形成されており、濃度分布マスクを用いて露光する場合には縮小光学系を有する露光機（以下、縮小光学系露光機という）を用いた縮小投影露光が行なわれる。濃度分布マスクの光透過量分布はマスクパターンの光学濃度とも表現できる。

【0005】従来技術に記載の濃度分布マスクを製作する方法として、次のような方法が考えられる。透明基板の一表面に金属膜や金属酸化膜などからなる遮光膜が形成され、さらにその上に感光性材料層が形成されたマスクブランクスを用い、その感光性材料層がポジ型のときはそのポジ型感光性材料層の光伝達開口に対応する位置に、感光性材料層がネガ型のときはそのネガ型感光性材料層の光伝達開口に対応する位置以外の位置に、電子線描画（EB描画）装置を用いて電子線を走査して描画することにより感光パターンを描画した後、現像処理を施して光伝達開口に対応する位置に開口をもつ二次元的感光性材料パターンを形成する。その後、その感光性材料

パターンをマスクとしてドライエッチングを施すことにより遮光膜に二次元のマスクパターン（遮光膜パターン）を形成する。

【0006】上記の濃度分布マスクの製作工程では、感光性材料パターンは高エネルギービームである電子線によって描画されるため、感光性材料パターンの側壁、ひいては遮光膜パターンの側壁は基板に対してほぼ垂直に形成される。そのため、遮光膜パターンを通過する光の透過率は、遮光膜が存在する部分では0%、遮光膜が存在しない部分では100%であり、デジタル的な光学濃度分布をもっている。

【0007】目的物品形成用の基板上に形成された感光性材料に所望の表面形状を形成すべく、このデジタル的な光学濃度分布をもつ濃度分布マスクを介して感光性材料層に露光工程を行なうと、その後の現像処理によって形成される感光性材料の表面形状の高さはデジタル的、すなわち階段状になってしまう。そのため、目的とする物品の表面形状を実質的に平滑なものとするためには、階調数を非常に大きくしなければならず、従来技術に例示されているように単位セルにおける最小限の開口寸法を露光に用いる光の波長よりも短くする必要がある。そして、パターンが微細になればなるほど濃度分布マスクの製作コストが上昇する。目的とする物品の表面形状は、階調数を大きくしていくにつれて平滑なものに近づいていくものの、あくまで階段状のものである。従来技術で「実質的に」と述べているのはそのことを意味している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記で述べた従来の濃度分布マスクの製作には以下の問題点があった。

①濃度分布マスク製作に多大の労力、ノウハウ及びコストを要する。そのため、破損した場合は、製作時間、コストの点で対応が遅れてしまう。つまり、容易に予備マスクを準備することができない。

【0009】②二次元の光透過量分布パターンをもつマスクを用いて露光し、感光性材料層に三次元のパターンを形成しようとするれば、縮小光学系露光機を用いて焦点をぼかした状態のデフォーカス露光を行なう必要があるため、マスクを感光性材料層に密着した状態で露光を行なうコンタクト露光（密着露光）法や、マスクを感光性材料層に近接した状態で露光を行なうプロキシミティー露光（近接露光）法などの等倍露光においては使用できない。

【0010】表面と裏面の両面に三次元構造をもつ物品を製作する場合を考えると、表面と裏面のそれぞれに物品のパターンとともに、位置合わせのためのトンボパターンと呼ばれるパターンも形成しなければならない。これを表面と裏面の両面ともに縮小投影露光法で実現しようとすると、縮小投影露光法では一方の面のトンボパターンを基にして他方の面のパターンの位置合わせをする

ことができない。また、縮小投影露光法では物品のパターンとトンボパターンとを同時に露光することができない。そのため、表面と裏面のそれぞれのパターン化をもとに縮小投影露光法で行なおうとすると、合計で4回の写真製版・エッチング工程が必要になり、工程が長くなって高コストになることは避けられない。

【0011】そこで、本発明は、コンタクト露光法やプロキシミティー露光法によっても三次元構造をもつ感光性材料パターンを形成できるマスクとその製造方法を提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、目的物品を形成すべき基体上に形成された感光材料層を露光するための遮光膜パターンを有する濃度分布マスクであって、その遮光膜パターンは遮光膜により透明基板上に形成された二次元パターンと、その二次元パターンの少なくとも一部においては透過光量が連続的に変化するように遮光膜の膜厚が連続的に変化している膜厚分布とを備えた三次元パターンとなっており、かつその遮光膜パターンは、形成される目的物品のパターンと等倍寸法に形成されている。等倍寸法とは遮光膜パターンが形成された平面内の寸法に関するものであり、遮光膜パターンの高さ方向の寸法に関するものではない。

【0013】目的物品を形成すべき基体上に形成された感光材料層を露光する本発明のマスクは、その遮光膜パターン自体において透過光量が連続的に変化するように遮光膜の膜厚が連続的に変化している膜厚分布をもっているため、コンタクト露光法やプロキシミティー露光法によっても感光材料層に滑らかな表面形状の三次元パターンを形成することができる。

【0014】縮小光学系を有するステッパー（レンズ縮小投影露光機）及びプロジェクション露光機は、露光対象表面に形成された位置合わせパターン（トンボパターン）を読み取ってマスク位置合わせすることはできるが、露光対象表面とは反対側の面に形成されたトンボパターンを読み取ってマスク位置合わせすることはできない。そのため、縮小光学系を有する露光機を用いて基板の表裏面に目的とする表面形状を製作する場合は、表面及び裏面についてトンボパターンのみを形成するフォトリソグラフィ工程がそれぞれ必要であり、製作時間が非常に長くなることが避けられず、高コストとなっていた。

【0015】本発明の濃度分布マスクでは、遮光膜パターンは、形成される目的物品のパターンと等倍寸法に形成されているため、目的物品を形成する際に、プロキシミティー露光法やコンタクト露光法など、等倍露光法により遮光膜パターンを露光することができるようになる。その結果、プロキシミティー露光法やコンタクト露光法では目的の表面形状用の遮光膜パターンと同時にトンボパターン用の遮光膜パターンを露光することがで

き、また透明基板の裏面位置合わせパターンを読み取って表面側のマスク位置合わせをすることができる。その結果、基板の表裏面に目的の表面形状を形成する場合の工程数を少なくすることができ、製作時間を短縮することができるので、目的物品の製造コストを下げるができる。

【0016】また、本発明の濃度分布マスクを用いれば、透明基板の表裏面に製作する光学素子の転写製作を異なった方法で行なうことが可能となる。例えば、透明ガラス基板状の一方にステッパー露光した光学素子を形成し、他方にコンタクト露光した光学素子を製作することができる。このような方法を利用して、例えば、両面に光学面を有する光学製品を製造できる。光学面の製造方法には、本発明者が既に特許出願した方法（特開平9-146259号公報、特願2000-177847号等参照）を適用することができる。

【0017】本発明により製作した濃度分布マスクを用いて三次元構造を製作すると、球面、非球面、円錐形状のような連続面で構成される光学素子を製作することも、フレネル形状のように連続面と不連続面から構成される光学素子を製作することも可能となる。更に、そのような光学素子に反射光学面を形成し、反射光学素子とすることも可能である。

【0018】この濃度分布マスクを製造する本発明の方法は、以下の工程（A）から（C）を含んでいる。

（A）透明基板上に遮光膜をもちその表面が感光材料層で被われたマスクブランクスに対し、加工対象物のパターンより大きな寸法の遮光膜二次元パターンをもつレチクルを用い、形成される遮光膜パターンが目的物品に対して等倍寸法になるように縮小率を設定して縮小投影露光する露光工程、（B）露光後の前記感光性材料層に現像処理を施して三次元構造をもつ感光性材料パターンを形成する現像工程、（C）形成された前記感光性材料パターンをマスクにしてマスクブランクスにエッチング処理を施して三次元構造をもつ遮光膜パターンを形成するエッチング工程。

【0019】この製造方法を実際の工程についてさらに説明する。予め目的の感光性材料パターンに対応したレチクル遮光膜パターンを有するレチクルを設計し、その設計に基づいて電子線描画法又はレーザー描画法を用いて描画し、現像、リンス、エッチングを経てレチクルを製作する（準備段階）。このレチクルを用いて縮小光学系露光機でマスクブランクスにレチクル遮光膜パターンを縮小投影露光する（工程（A））。マスクブランクスの一例は、石英基板上に遮光膜として所定厚さのCr膜が形成され、さらにその上に感光性材料層が塗布されたものである。この縮小投影露光の際、デフォーカス（焦点ぼかし）を行なうのが好ましい。

【0020】露光後の感光性材料層に現像及びリンスを含む現像処理を施し、感光性材料パターンを形成する

（工程（B））。ここで感光性材料パターンは、三次元方向に膜厚分布を有する構造に製作され、この段階でレチクルの微細遮光膜パターン形状による光透過量分布が平均化される。この感光性材料パターンをマスクにして異方性エッチングを施し、感光性材料パターンをマスクブランクスに転写し、三次元方向に膜厚分布を有する遮光膜パターンを形成する（工程（C））。

【0021】

【発明の実施の形態】露光工程（A）において、縮小投影露光は焦点をぼかしたデフォーカスで行なうことが好ましい。その結果、感光性材料パターンの表面形状、ひいては遮光膜パターンの表面形状をより滑らかにすることができ、よりアナログ的な光学濃度分布をもつ濃度分布マスクを製作することができる。

【0022】また、露光工程（A）において、露光時間内にデフォーカス量を予め設定された条件で変化させつつ行なうことが好ましい。また、露光工程（A）において、デフォーカス量を焦点が大きくずれた側から焦点が合う側へ変化させることが好ましい。ここでデフォーカス量とは焦点がずれている程度をいい、デフォーカス量の制御は焦点を感光性材料層からずらせばよい。デフォーカス量を制御することにより、感光性材料パターンの表面形状、ひいては遮光膜パターンの表面形状をより平滑なものとすることができる。また、露光時間内に、デフォーカス量に応じて露光量を制御することが好ましい。

【0023】

【実施例】（液晶用微小寸法MLA（マイクロレンズアレイ）用濃度分布マスクの製作）図1はMLA用濃度分布マスクの製作に用いるレチクルの遮光パターンの一例を示す図である。透明ガラス基板の表面にレチクル遮光パターンとしてのCr（クロム）膜パターン（斜線部分）が形成されている。このような遮光膜パターンの設計及び製造方法は、本発明者によって特許出願された方法（特願2000-177847号参照）で製作できる。

【0024】そのレチクルの製造方法を簡単に説明すると、透明ガラス基板上に例えば200nm厚さのCr膜を成膜し、その上にレジスト材料を塗布してマスクブランクスとし、そのレジスト材料層にレーザー光照射装置を用いてレーザー光を照射し描画を行なう。レーザー光照射装置によりレーザー光が照射されたレジスト材料部分は、現像及びリンスを含む現像処理によって除去され、レジスト材料パターンが形成される。そのレジスト材料パターンをエッチングマスクとしてCr膜をドライエッチングすることにより、Cr膜のある部分では光透過率が0%、Cr膜のない部分では光透過率が100%となる遮光膜パターンが得られる。ここで製作される形成される遮光膜パターンのサイズは、目的とする物品のサイズに比べて拡大されたサイズ、例えば5倍に拡大さ

れたサイズである。なお、レジスト材料層への描画は電子線描画によって行なうこともできる。

【0025】次に、図1に示すレチクルと、図2に示す縮小投影露光装置（1/5ステッパー）を使用して本発明の濃度分布マスクを製作する工程を説明する。まず、その縮小投影露光装置の説明を行なう。光源ランプ30からの光は、集光レンズ31により集光され、レチクル32を照射する。レチクル32を透過した光は、縮小倍率の結像レンズ33に入射し、ステージ34上に載置された濃度分布マスク用のマスクブランクス37の表面に、レチクル32の縮小像、即ち、光学濃度分布の縮小像を結像する。マスクブランクス37を載置したステージ34は、ステップモーター35、36の作用により、結像レンズ33光軸に直交する面内で、互いに直交する2方向へ変位可能であり、マスクブランクス37の位置を、結像レンズ33の光軸に対して位置合わせできるようにになっている。

【0026】図3は濃度分布マスクの製造方法の一実施例を示す工程断面図である。図3に沿ってその製作工程を説明する。

(A) 石英基板1の一表面にCr膜3を $0.2\mu\text{m}$ の膜厚で形成し、さらにその上にレジスト材料層5を約 $8\mu\text{m}$ の膜厚で塗布した。レジスト材料層5の材料としてOFPR-5000-800（東京応化（株）の製品）を用いた。その後、プリベークしたところ、レジスト材料層5の膜厚は $7.5\mu\text{m}$ であった。プリベーク後の石英基板1、Cr膜3及びレジスト材料層5をマスクブランクス37とした。

【0027】(B) マスクブランクス37を図2に示す1/5縮小のステッパーに設置し、次の露光条件で露光した。

デフォーカス： $+5\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 3.60\text{秒}$

この条件の総合露光量は約 $1400\text{mJ}$ である。ここで、デフォーカス量の表示の+の符号は、焦点がレジスト材料層5の表面の上にあることを意味している。上記の露光条件で、結像レンズ33によるレチクル32の縮小像を、マスクブランクス37のレジスト材料層5に結像させた。この露光を、マスクブランクス37の全面にわたって行なった。さらに、マスクブランクス37にアライナーによりトンボパターンを露光した。トンボパターンの露光時はデフォーカスは0、すなわちジャストフォーカスで露光した。

【0028】この条件で露光後、現像及びリンスを含む現像処理を施し、レジスト材料層5の露光部分を除去してレジスト材料パターン5aを製作した。レジスト材料パターン5aは「高原状の断面構造」を有している。レジスト材料パターン5aの「高原状の斜め角度」はレチクルの設計、デフォーカス量、レジスト材料層5の膜厚及びレジスト材料層5の材料の感度によって変化する。

この斜め角度は濃度分布マスクの光学濃度分布のアナログ構造（光透過量分布）に重要な影響を及ぼすものである。

【0029】この工程（B）では、露光時にデフォーカスさせているので、表面形状に特段の段差を生じさせることなくレジスト材料パターン5aを製作することができた。さらに、デフォーカスの効果により、レチクル32の微細遮光膜パターンによる光透過量分布がより平均化され、レジスト材料パターン5aの表面形状がより滑らかになる。

【0030】ここでは、露光時にデフォーカスさせることにより、レジスト材料パターン5aの表面形状の平滑化をより向上させているが、焦点が合ったジャストフォーカスでもある程度の平滑化は期待できる。さらに、露光時間内にデフォーカス量を予め設定された条件で変化させつつ行なったり、デフォーカス量を焦点が大きくなった側から焦点が合う側へ変化させたりすることによって、さらに平滑化の効果を高めることができる。

【0031】その後、ホットプレート上で、 $120^\circ\text{C}$ 、40分間の条件で、レジスト材料パターン5aが変形しないようにポストベークを施し、レジスト材料パターン5aを硬化させた。ここではレジスト材料パターン5aを硬化させる手段として加熱処理を用いているが、加熱処理に代えて紫外線硬化処理（UVハードニング処理）を用いてもよい。

【0032】(C) レジスト材料パターン5a硬化後のマスクブランクス37をRIE（反応性イオンエッチング）ドライエッチング装置にセットし、真空度： $5.0\times 10^{-3}$ （Torr）、 $\text{CF}_4$ ： $15.0$ （sccm）、Ar： $0.5$ （sccm）、 $\text{O}_2$ ： $10.0\sim 15.0$ （sccm）の条件で、レジスト材料パターン5a及びCr膜3に対してドライエッチングを行なった。またこの時、選択比が経時的に変化するように $\text{O}_2$ 導入量を変更しながらレジスト材料パターン5a及びCr膜3のエッチングを行なった。エッチング時間は10分を要した。

【0033】このようにして、レジスト材料パターン5aの表面形状をCr膜3に彫り写してCr膜パターン3aを形成した。これにより、製作しようとする目的物品と等倍のサイズをもつ一実施例の濃度分布マスク7が完成した。Cr膜パターン3aはレジスト材料パターン5aの表面形状を彫り写して形成したので「高原状の断面構造」を有しており、その表面形状に特段の段差は存在していない。

【0034】濃度分布マスク7において、Cr膜パターン3aが存在しない部分では光透過量は100%であり、Cr膜パターン3aが存在する部分では、Cr膜パターン3aの膜厚に応じて、膜厚が薄い部分では光透過量は多く、膜厚が厚い部分では光透過量は少なくなっている。すなわち、濃度分布マスク7の光学濃度分布は、Cr膜パターン3aの膜厚の分布により実現されている。

る。そして、Cr膜パターン3aの膜厚は目的物品の表面形状に応じて連続的に変化しているので、濃度分布マスク7の光学濃度分布はアナログ的なものになっている。濃度分布マスク7は、レチクル32を製作しておけば容易に複製することができ、予備マスクを安価に製作することができる。以下、このようにして製作した濃度分布マスク7を「シスターマスク」という。

【0035】次に、シスターマスクを用いて光学素子を製作した例を示す。

(光学素子製作例1)

液晶用微小寸法MLA製作の具体例：図4は液晶用微小寸法MLA製作の具体例を示す工程断面図である。

(A) 液晶プロジェクト用MLAを製作するために、ネオセラム基板9を用意した。基板9上にレジスト材料であるOFPR-800-800(東京応化(株)の製品)を約8μmの膜厚になるように塗布し、その後プリベークしてレジスト材料層11を形成した。レジスト材料層11の膜厚は7.0μmであった。

【0036】(B) レジスト材料層9に、シスターマスク7を用いて露光機(Quintel社(米国)製マスクアライナー：Q-7000)でプロキシミティー露光した。基板9のレジスト材料層11が形成された面とシスターマスク7の遮光膜パターン3aが形成された面を対向して配置し、ギャップ量dを5μmに設定してプロキシミティー露光を行なった。露光条件は、照射量：14mW×41秒(総露光量：574mJ)であった。ここでは、従来技術のように開口寸法と露光時の光源波長を考慮する必要はなく、従来技術のように露光時の波長を制限されない。

【0037】図5は、シスターマスク7の遮光膜パターン3aを透過する光の光強度分布を示す図である。シスターマスク7を透過する光強度は、遮光膜パターン3aの膜厚によって決定され、遮光膜パターン3aの膜厚が薄い部分では大きくなり、厚い部分では小さくなり、光強度分布を形成する。その光強度分布に応じてレジスト材料層11が表面側から露光される。

【0038】(C) 図4に戻って説明を続けると、この条件で露光後、現像及びリンスを含む現像処理を施し、レジスト材料層11の露光部分を除去してレジスト材料パターン11aを製作した。その後、ホットプレート上で、120℃、40分間の条件でポストベークを施し、レジスト材料パターン11aを硬化させた。ポストベーク後のレジスト材料パターン11aは目的形状の断面構造を有していた。

【0039】(D) その後、基板9をTCP(誘導結合型プラズマ)ドライエッチング装置にセットし、真空度：1.5×10<sup>-3</sup>(Torr)、CHF<sub>3</sub>：5.0(sccm)、CF<sub>4</sub>：50.0(sccm)、O<sub>2</sub>：15.0(sccm)、Ar：1.0(sccm)、基板バイアス電力：600W、上部電極電力：1.25kW、基板

冷却温度：-20℃の条件でドライエッチングを行なった。またこの時、選択比が経時的に変化するように基板バイアス電力、上部電極電力及び酸素導入量を経時的に変更しながらエッチングを行なった。基板の平均エッチング速度は、0.81μm/分であったが、実際のエッチング時間は、10分を要した。このようにして、液晶用微小寸法MLA9aを製作した。液晶用微小寸法MLA9aの各マイクロレンズの曲率を設計値通りに製作することができた。

【0040】(光学素子製作例2)

コリメータレンズの製作：濃度分布マスク工法が最も有効性を発現する製品として以下のものが挙げられる。

(1) レジスト熱変形工法では、微小寸法のフレネルレンズの形成は、不可能であった。→濃度分布マスク技術はこれを可能とする。

(2) レジスト熱変形工法では、製作可能なレンズ寸法が、限られており、直径500μm程度が大口径レンズの限界であった。→濃度分布マスク工法は、大口径レンズも製作可能である。

(3) 非球面形状を製作するのに、多くのデータ蓄積とノウハウを必要としていた。→濃度分布マスク工法は、色々な形状を製作できる。

【0041】濃度分布マスク工法は、上記のような特徴を有する。これらの特徴を最も良く表す形状の1つとしてフレネルレンズがある。以下に、第1面にフレネルレンズ、第2面にミリメートルレンズを備えたコリメータレンズを製作した例を示す。

【0042】図6はコリメータレンズを示す断面図である。コリメータレンズ13の第1面にフレネルレンズ15、第2面にミリメートルレンズ17が形成されている。第1面に形成されたフレネルレンズ15は、8輪体、レンズ最大高さ：13.1μmである。第2面に形成されたミリメートルレンズ17は、直径1.24mm、レンズ高さ：14.1μmである。

【0043】以下にこのコリメータレンズ13の設計データを示す。図7はそのフレネルレンズ15の光軸Oから右側の部分の一部を示したものであり、tは基板の厚さ、h(n)(n=1, 2, 3...)は光軸Oから各輪帯までの面高さ、ΔZ(n)は各輪帯の表面から谷までの深さを表わすサグ量、θは傾き角である。

【0044】ここで、フレネルレンズの各輪帯の曲面形状を表わす非球面式：Z(n)は、  

$$Z(n) = ch(n)^2 / \{1 + (1 - (K+1)c^2h(n)^2)^{1/2}\} + Ah(n)^4 + Bh(n)^6 + Ch(n)^8 + Dh(n)^{10} + Eh(n)^{12} + Fh(n)^{14} + Gh(n)^{16}$$

で表わされ、面高さ：h(n)は、

$$h(n) = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

であり、傾き角θは、

$$\theta = \arctan(dz/dh)$$

であり、傾斜度dz/dhは、



$$dz/dh = ch(n)^2 / \{ (1 - (K+1)c^2h(n)^2)^{1/2} \} + 4Ah(n)^3 + 6Bh(n)^5 + 8Ch(n)^7 + 10Dh(n)^9 + 12Eh(n)^{11} + 14Fh(n)^{13} + 16Gh(n)^{15}$$

である。また、

$$\text{球面式} = ch(n)^2 / \{ 1 + (1 - c^2h(n)^2)^{1/2} \}$$

である。

【0045】上記の非球面式を用い、その係数を以下のように設定する。

ミリメートルレンズの場合：

$$c = 1/R = 1/6.24956 = 0.160011$$

$$K = 0$$

$$A = -0.130869$$

$$B = 0.209718$$

$$C = -0.716491$$

$$D = 0.717725$$

$$E = 0$$

$$F = 0$$

$$G = 0$$

【0046】フレネルレンズの場合：

$$c = 1/R = 1/2.514 = 0.3978$$

$$K = -41.6666$$

$$A = 0.375358$$

$$B = 0.0299897$$

$$C = -8.33456$$

$$D = 54.3372$$

$$E = -166.397$$

$$F = 253.585$$

$$G = -154.685$$

【0047】上記のレンズ設計に基づいてレチクル用のマスクブランクスにレーザー照射装置を用いてレチクル遮光膜パターンを描画し、現像及びリンスを含む現像処理を施して、フレネルレンズ15用レチクルとミリメートルレンズ17用レチクルをそれぞれ製作した。

【0048】この2種類のレチクルから出発してコリメータレンズを製作する方法を2つ示す。

(その1) 第1の例では、フレネルレンズ15はレチクルを用いて縮小投影露光法により露光し、ミリメートルレンズ17はレチクルからシスターマスクを製作し、そのシスターマスクを用いてプロキシミティー露光を行なって製作した。まず、上記の液晶用微小寸法MLA用濃度分布マスクの製作と同様にして、ミリメートルレンズ17用レチクルを用い、ミリメートルレンズ17用シスターマスクを製作した。ミリメートルレンズ17用のシスターマスクには、ミリメートルレンズ17の中心位置から設計通りに位置決めしたトンボパターン用遮光膜パターンをレンズ有効径外に配置した。ミリメートルレンズ17用のシスターマスクへのトンボパターン用遮光膜パターンの形成は、ミリメートルレンズ17用レチクル

を用いた露光とは別工程のジャストフォーカス露光で行なった。

【0049】コリメータレンズ製作の工程は以下の通りである。

(a) S-NPH2 (OHARA社製) ガラス基板 (屈折率: 1.923 ( $\lambda=587\text{nm}$ ), 基板厚さ: 1.0mm) を用意し、この基板のミリメートルレンズ17が形成される予定の第2表面の基板外周部の必要部分に、スパッタリング法によりトンボパターン用Cr膜を150nmの膜厚で成膜した。

【0050】(b) 上記の液晶用微小寸法MLA製作の具体例と同様にして、このガラス基板の第2表面上にレジスト材料OFPR-800-800 (東京応化 (株) の製品) を約8 $\mu\text{m}$ の膜厚になるように塗布し、その後プリベークしてレジスト材料層11を形成した。レジスト材料層11の膜厚は7.0 $\mu\text{m}$ であった。そのレジスト材料層に対して、ミリメートルレンズ17用のシスターマスクを用いてプロキシミティー露光を行なった。ミリメートルレンズ17用のシスターマスクにはトンボパターン用遮光膜パターンも形成されているので、ミリメートルレンズパターン像とトンボパターン像を同時に露光した。

【0051】(c) 上記の液晶用微小寸法MLA製作の具体例と同様にして、露光後のレジスト材料層に対して現像処理及びポストベークを施してレジスト材料パターンを形成した。そのレジスト材料パターンにはトンボパターン用のものも含まれている。

【0052】(d) ガラス基板の第2表面に、上記の液晶用微小寸法MLA製作の具体例と同様にして、ドライエッチングを施してコリメータレンズ13のミリメートルレンズ17を形成した。このとき、第2表面のトンボパターン用Cr膜の一部分が除去されて第2面用のトンボパターンが形成される。

【0053】(e) ガラス基板の第1表面にフレネルレンズ用のトンボパターンを形成するために、フレネルレンズ15が形成される予定の第1表面の基板外周部の必要部分に、スパッタリング法によりトンボパターン用Cr膜を120nmの膜厚で成膜した。

【0054】(f) 第1表面上にレジスト材料を1.0 $\mu\text{m}$ の膜厚で塗布し、所定の方法でプリベークしてレジスト材料層を形成した。そのガラス基板をアライナーにセットし、Z軸方向に焦点調節できる顕微鏡で第2表面に形成されたトンボパターン位置を確認しながらガラス基板をX-Y平面内で移動させて、第1表面用トンボパターン用のマスクを位置決めし、アライナーで露光した。

【0055】(g) 露光後のレジスト材料層に現像及びリンスを含む現像処理を施してCr膜上にトンボパターン用のレジスト材料パターンを形成した。そのレジスト材料パターンをマスクにして、ウエットエッチングによ



りガラス基板の第1表面のCr膜の一部をエッチングし、第1表面用のトンボパターンを形成した。この状態で、ガラス基板の第1表面側及び第2表面側のトンボパターンは高精度で位置合わせされている。

【0056】(h) 上記の液晶用微小寸法MLA製作の具体例と同様にして、ガラス基板の第1表面上にレジスト材料TGMR-950GM(東京応化(株)の製品)を約8 $\mu$ mの膜厚になるように塗布し、その後プリベークしてレジスト材料層11を形成した。レジスト材料層11の膜厚は7.5 $\mu$ mであった。

【0057】(i) 次に、ガラス基板をステッパーにセットし、第1表面用トンボパターンを基準にして位置合わせし、第1表面上のレジスト材料層に対してフレネルレンズ用レチクルを用いて縮小投影露光した。ここで、ステッパーは、露光すべき基板表面の所定パターンを反射光で読み取ることができれば位置合わせ及びデフォーカスが可能である。但し、前述したように、第2表面のパターンを読み取って位置合わせすることはできない。

【0058】(j) 上記の液晶用微小寸法MLA製作の具体例と同様にして、露光後のレジスト材料層に対して現像処理及びポストベークを施してガラス基板の第1表面上にレジスト材料パターンを形成した。

【0059】(k) ガラス基板の第1表面に、上記の液晶用微小寸法MLA製作の具体例と同様にして、ドライエッチングを施してフレネルレンズ15を形成した。これにより、フレネルレンズ15の各輪体の曲率は設計値通りの形状を有し、また、ミリメートルレンズ17の曲率は設計値通りの形状を有し、レンズの各々の光軸を直径1.0 $\mu$ m以内の誤差で光軸合わせすることができた。

【0060】もし、この方法で、シスターマスクを用いることなく、従来技術のようにステッパーを用いてミリメートルレンズ17を形成する場合、ミリメートルレンズ17を形成するためのガラス基板の第2表面にトンボパターンを形成した後、そのトンボパターンを基準にしてミリメートルレンズ用の第2表面用レチクルを位置合わせして縮小投影露光する必要がある。すなわち、トンボパターンの形成とミリメートルレンズの形成について、レジスト材料層形成工程、露光工程及び現像処理工程を含むフォトリソグラフィ工程とエッチング工程をそれぞれ行なう必要がある。

【0061】それに対し、このコリメータレンズの製作例によれば、シスターマスクを用いることにより、トンボパターン用のレジストパターンとミリメートルレンズ用のレジストパターンを同時に露光して形成することができるので、レチクルを用いてステッパーで縮小投影露光する方法に比べてフォトリソグラフィ工程とエッチング工程をそれぞれ1回ずつ少なくすることができ、コリメータレンズ13の製作時間を短縮することができる。

【0062】(その2) 第2の例では、フレネルレンズ15もミリメートルレンズ17もともにレチクルからシスターマスクを製作し、それぞれのシスターマスクを用いてプロキシミティー露光を行なって製作した。まず、フレネルレンズ15用とミリメートルレンズ17用のシスターマスクを製作した。それらのシスターマスクにはレンズ中心位置から設計通りに位置決めしたトンボパターン用遮光膜パターンをレンズ有効径外に配置した。トンボパターン用遮光膜パターンの形成は、それぞれのレンズ用レチクルを用いた露光とは別工程のジャストフォーカス露光で行なった。

【0063】コリメータレンズ製作の工程は以下の通りである。ミリメートルレンズ17を形成する工程は、その1で述べた工程(a)～(d)と同じである。これにより、第2表面にミリメートルレンズ17とトンボパターンが形成される。

【0064】(e) ガラス基板の第1表面上にレジスト材料OFPR-800-800を約8 $\mu$ mの膜厚になるように塗布し、その後プリベークしてレジスト材料層11を形成した。レジスト材料層11の膜厚は7.0 $\mu$ mであった。

【0065】(f) そのガラス基板をアライナーにセットし、Z軸方向に焦点調節できる顕微鏡で第2表面に形成されたトンボパターン位置を確認しながらガラス基板をX-Y平面内でX、Y、 $\theta$ 方向に移動させて、第1表面に対してフレネルレンズ用シスターマスクを位置決めし、そのシスターマスクを用いてアライナーでプロキシミティー露光を行なった。フレネルレンズ用シスターマスクにはフレネルレンズ用パターンとともにトンボパターンも形成されているので、第1表面に予めトンボパターンを形成しなくても、シスターマスクをアライナーで位置決めできるのである。

【0066】(g) 露光後のレジスト材料層に対して現像処理及びポストベークを施してガラス基板の第1表面上にレジスト材料パターンを形成した。

(h) ガラス基板の第1表面にドライエッチングを施してフレネルレンズ15を形成した。これにより、フレネルレンズ15の各輪体の曲率は設計値通りの形状を有し、また、ミリメートルレンズ17の曲率は設計値通りの形状を有し、レンズの各々の光軸を直径1.0 $\mu$ m以内の誤差で光軸合わせすることができた。

【0067】この製作例によれば、フレネルレンズ15もミリメートルレンズ17もともにシスターマスクを用いて製作することにより、基板の第1表面と第2表面のそれぞれについてリソグラフィ工程とエッチング工程が1回ずつ済み、コリメータレンズ13の製作時間を一層短縮することができる。これらの実施例では、遮光膜パターンの材料としてCrを用いているが、本発明はこれに限定されるものではなく、チタン、タンタル、珪素、クロム、アルミニウム、タングステン、錫、インジ

ウムの単体、もしくはそれらの酸化物、又はそれらを含む金属化合物など、他の材料であってもよい。

【0068】

【発明の効果】本発明の濃度分布マスクは、その遮光膜パターンは遮光膜により透明基板上に形成された二次元パターンと、その二次元パターンの少なくとも一部においては透過光量が連続的に変化するように遮光膜の膜厚が連続的に変化している膜厚分布とを備えた三次元パターンとなっているので、感光材料層に滑らかな表面形状の三次元パターンを形成するのが容易である。その遮光膜パターンが、すでに縮小されて、形成される目的物品のパターンと等倍寸法に形成されているので、コンタクト露光やプロキシミティー露光に供することができる。また、露光に際し、従来例の場合には開口寸法より長波長の光を使用しなければならなかったが、本発明ではシスターマスクのパターンは平均化されているので、露光時の光源波長に制約を受けない。この濃度分布マスクは、レチクルを用意しておけば、本発明の製造方法による縮小投影露光により短時間で容易に製作することができるので、安価に予備マスクを用意しておくことができ

る。

【図面の簡単な説明】

【図1】マイクロレンズ用レチクルの遮光パターンの一例を示す平面図である。

【図2】縮小投影露光装置の一例を示す概略構成図である。

【図3】濃度分布マスクの製造方法の一実施例を示す工程断面図である。

【図4】液晶用微小寸法MLA製作の具体例を示す工程断面図である。

【図5】シスターマスクの遮光膜パターンを透過する光の光強度分布を示す図である。

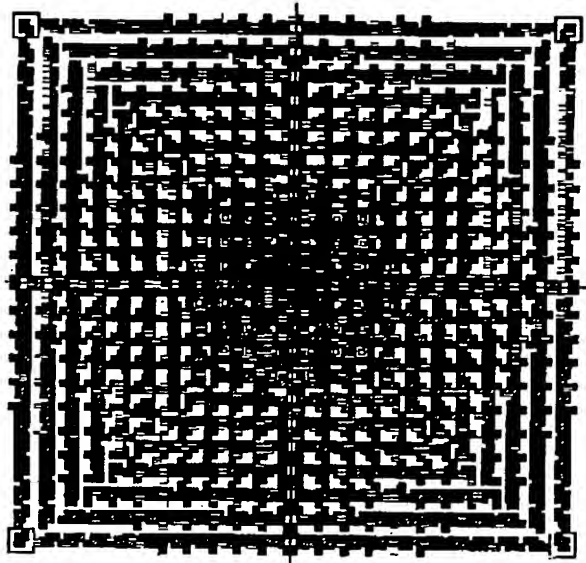
【図6】コリメータレンズを示す断面図である。

【図7】フレネルレンズの一部を示す断面図である。

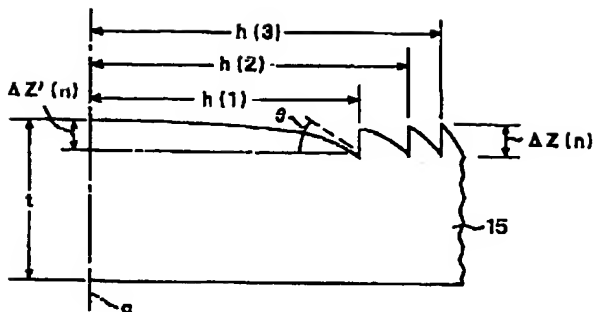
【符号の説明】

- 1 石英基板
- 3 Cr膜
- 3a 遮光膜パターン
- 5 レジスト材料層
- 7 シスターマスク

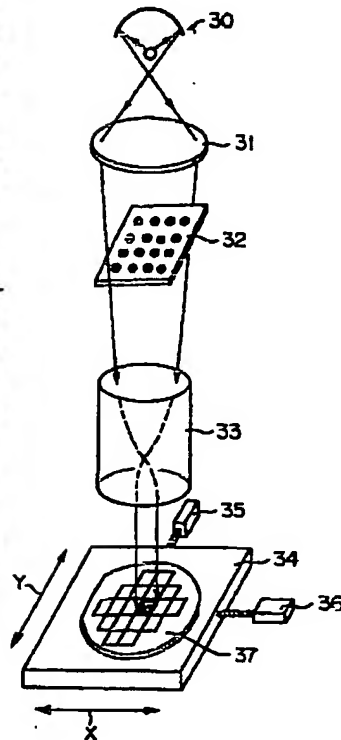
【図1】



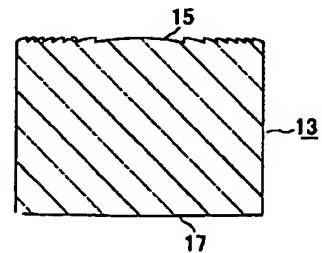
【図7】



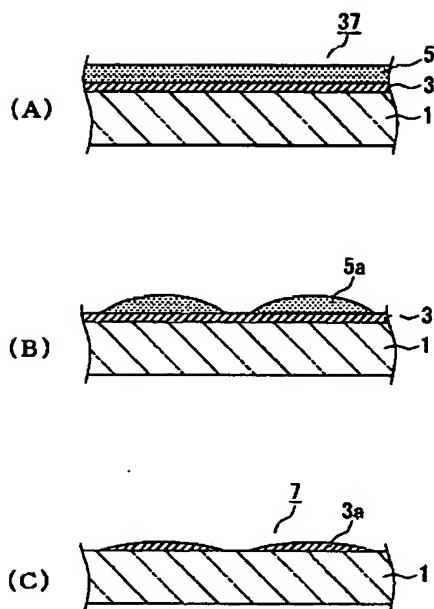
【図2】



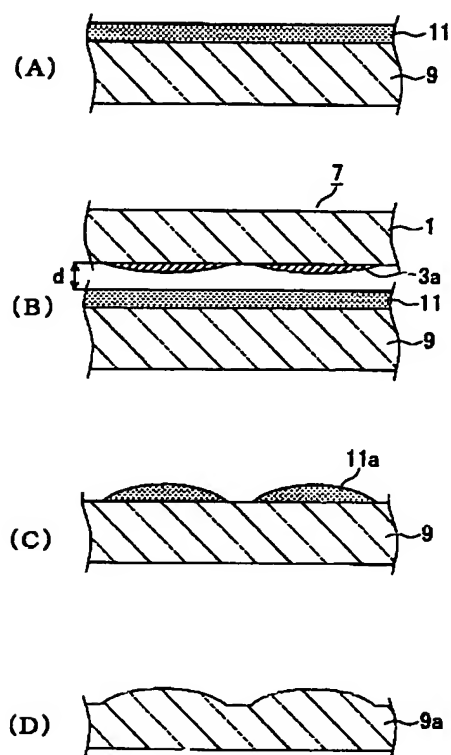
【図6】



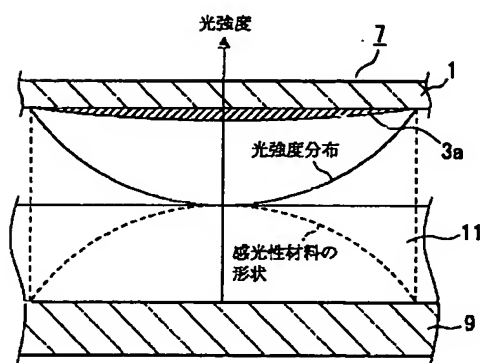
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/027

識別記号

FI

H01L 21/30

(参考)

502P

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**